УДК 631.3

**В.С.СИМАНКОВ, С.Н.ВЛАДИМИРОВ,
А.О.ДЕНИСЕНКО, А.Н.ЧЕРКАСОВ**

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В статье раскрываются теоретические аспекты построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений, этапы разработки и построение функциональной схемы системы поддержки принятия решений посредством комплексного применения математических методов для решения задач, выдвигаемых различными видами деятельности.

Ключевые слова: *система поддержки принятия решений, алгоритм, методы принятия решений, альтернатива, критерий, решающее правило, функциональная схема.*

Введение. *Под системой поддержки принятия решений (СППР)* понимается информационная система, предназначенная для формализации и актуализации слабоструктурированных и неструктурированных задач планирования, прогнозирования и управления, максимально приспособленных к адекватной оценки повседневных управленческих проблем и используемых в качестве инструмента экспертами и системными аналитиками.

Общий алгоритм поддержки принятия решений, состоящий из этапов, наиболее удобно представить в виде IDEF0-диаграммы, приведенной на рис.1 [1]:

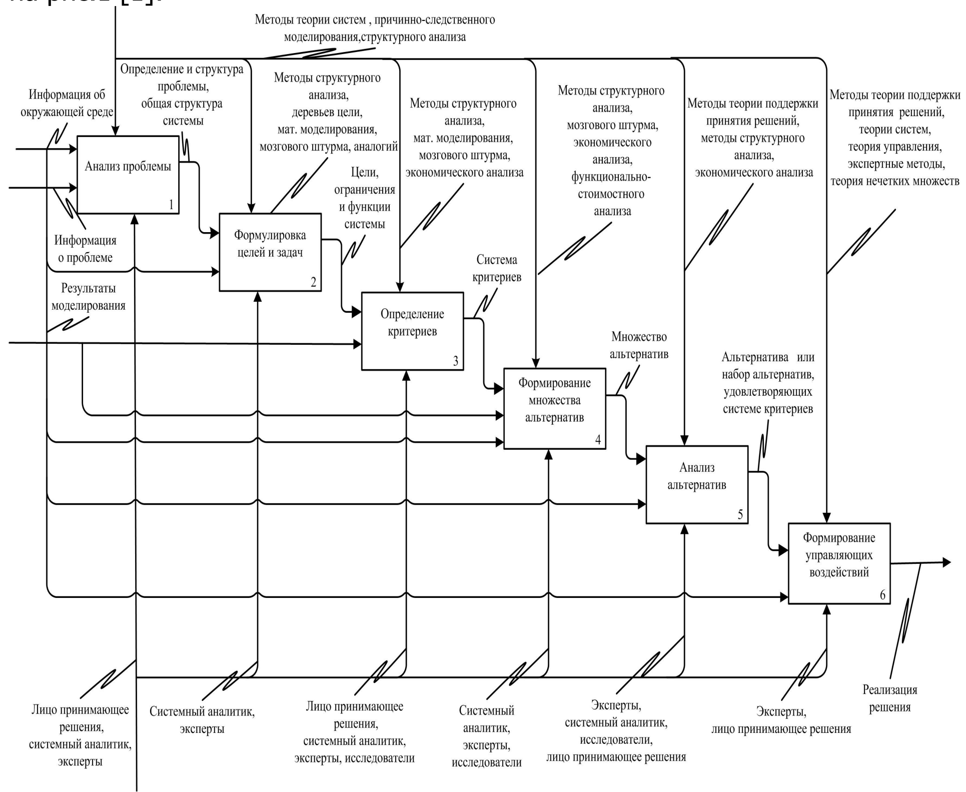


Рис. 1. Алгоритм поддержки принятия решений

Рассмотренная иерархическая последовательность показывает, что переход к последующему этапу затруднен без реализации предыдущего, но возможны итерации, т. е. повторения несколько раз одного и того же этапа или совокупности этапов для достижения наиболее эффективного результата.

Методы исследования. Формально система поддержки принятия решений с точки зрения системного анализа может быть представлена в виде кортежа [2]:

$$\langle P,S,Z,K,SH,D,M,A,F,G,U,V,W \rangle, \quad (1)$$

где P – математическая проблема; S – определение системы; Z – определение целей системы; K – множество критериев эффективности системы; SH – множество шкал измерений критериев; D – способ исследования системы; M – методы моделирования системы; A – множество альтернатив; F – отображение множества альтернатив на множестве критериев; G – система предпочтений лица принимающего решение (ЛПР); U – вид целевой функции; V – универсальное множество; W – решающее правило, отображающее систему предпочтений.

В соответствии с алгоритмом принятия решений, рассмотрим в отдельности каждый из указанных в нем этапов.

Этап 1. Анализ проблем. Для реализации первого этапа формулирования и анализа проблемы необходимо осуществить следующие шаги:

- мониторинг внешней среды и объекта управления;
- выявление и формирование проблемы, оценка ее новизны;
- установление взаимосвязи с другими проблемами;
- оценка полноты и достоверности информации по данной проблеме;
- ведение базы данных информационных ресурсов по проблеме.

Полученная информация о существующей проблеме анализируется с целью получения подробных данных о самой системе, выявления общей структуры проблематики и возможности использования ее для определения цели и формулировании задач [1].

Математически можно определить проблему P_t следующим образом:

$$P_t = \left| A_t - A_t^0 \right|, \quad (2)$$

где A_t – действительное состояние в момент времени t; A_t^0 - желаемое состояние в момент времени t.

Этап 2. Формулировка целей и задач. На данном этапе определяются цели системы (Z), формулируется глобальная цель, ограничения и вырабатывается последовательность задач для достижения целей:

- определение разрешимости проблемы;
- концептуальная разработка вариантов решения проблемы;
- оценка вариантов решения проблемы;
- декомпозиция выявленной проблемы на отдельные задачи;
- постановка задач на вербальном уровне;
- формулировка условий и целей;
- логический анализ условий, целей и задач на вербальном уровне;
- постановка задач исполнителям.

С точки зрения системного анализа формирование целей наиболее

эффективно провести при помощи теории нечетких множеств и экспертных методов, в частности метода Делфи (Деп. 22.01.08 № 45-В2008).

В теории нечетких множеств для определения целей и задач необходимо существование некоторого множества альтернатив-целей $A_Z = \{a_i\}$. Тогда нечёткая цель Z будет отождествляться с фиксированным нечётким множеством целей во множестве A_Z.

На данном этапе возможно использование и малоформализованных методов, например морфологического анализа, целью которого является представление каждого варианта в виде составных частей (компонентов). Математическая функция формирования цели Z в таком случае представляется в виде:

$$\psi_Z = \bigcup_{i=1}^{r} \bigcup_{g=1}^{1} q\left(x_{j_g d_g}, x_{j_g d_g}{}^{i}\right), \qquad (3)$$

где $x_{j_1 d^i_1}, \ldots, x_{j_g d^i_g}$ образуют i -й недопустимый набор, $r = |V|$,

$$q(b,e) = \begin{cases} 1, \text{где } b = e, \\ 0, \text{где } b \neq e. \end{cases}$$

После чего формируется множество целей $A = \{x \in A_B \mid Q(x) = 0\}$.

Универсальным методом, применимым на всех этапах принятия решений является метод Делфи, алгоритм которого состоит из нескольких этапов:

- определяется значение прогнозируемой величины и рассчитывается дисперсия оценок, определяющая разброс мнений экспертов (N);

- находится среднее квадратичное отклонение прогноза и коэффициент вариации, характеризующий единодушие экспертов;

- по полученным данным оценивают диапазон прогнозируемой величины, в который она попадает с заданной вероятностью p. На основе мнений экспертов диапазон прогнозируемой величины определяется соотношением:

$$\bar{H} - \tau \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \le H \le \bar{H} + \tau \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \qquad (4)$$

где τ - величина, зависящая от N и p, имеющая распределение Стьюдента с $(N-1)$ -степенями свободы, и определяемая по таблицам в функции от $(N-1)$ и $(1-p)$.

При формировании целей необходимо учитывать такие основные принципы системного анализа, как принцип конечной цели, единства и связности [3].

Этап 3. Выбор критериев и оценка их эффективности. При формировании системы критериев K реализуется последовательность действий: определение системы критериев достижения цели, декомпозиция критериев по подцелям, оценка эффективности критериев.

Процесс формирования системы критериев эффективности является творческим, плохо формализуемым и в значительной мере субъектив-

ным, требующим в каждом случае индивидуального подхода, он зависит от неопределенности исходной информации, поэтому необходимо использование различных методов для определения множества критериев. (Деп. 22.01.08 № 45-В2008).

Систему критериев возможно сформировать на основе теории нечетких множеств, где критерий k_i K можно представить в виде нечеткого множества $\tilde{\tilde{k}}_i$, которое задано на универсальном множестве V таким образом:

$$\tilde{\tilde{k}}_i = \frac{\mu^i(\nu_1)}{\nu_1}, \frac{\mu^i(\nu_2)}{\nu_2}, \ldots, \frac{\mu^i(\nu_n)}{\nu_n} , \quad (5)$$

где $\mu^i(\nu_i)$ - степень принадлежности элемента ν_i к нечеткому множеству.

В случае полной неопределенности эффективным методов для формирования критериев может оказаться, наряду с методом Делфи, и метод формирования критериев и альтернатив при помощи экспертного опроса. В нем необходимо:

1. От каждого из N экспертов получить множество K_i критериев, которые, по его мнению, следует включить во множество K .

2. Построить общее множество $\tilde{K} = \bigcup_{i=1}^{N} K_i$ $|\tilde{K}| = n$.

3. Из матрицы $R = (rij), i = \overline{1,N}; j = \overline{1,n};$ вычислить величину $H_j = \sum_{i=1}^{N} rij/N$, которая рассматривается как вероятность принадлежности j-го критерия множеству K .

4. Задачу выбора критериев экспертами формально записать в следующем виде:

$$k_1^*,...,k_N^* = \text{Arg} \max_{k} (\min_{K}) Q_K \; k_i,...,k_N \quad . \quad (6)$$

Однако понятие «критерий» можно рассматривать не только как критериальную функцию, но и как способ сравнения альтернатив. Это означает, что критерием качества альтернативы может служить любой ее признак. После того как такая характеристика найдена (критерий сформирован), появляется возможность ставить задачи выбора и оптимизации.

Этап 4. Формирование множества альтернатив. В задачах принятия решений альтернативы представляют собой конкретные системы (продукты, технические комплексы и т.д.). Процесс формирования множества альтернатив, основанный на эвристических предпочтениях лица, принимающего решения, можно подразделить на три последовательных этапа: генерирование множества альтернатив, структурирование альтернатив, определение подмножества сгенерированых альтернатив.

В зависимости от степени решаемых задач генерацию решений наиболее эффективно проводить с помощью экспертных методов и теории не-

четких множеств (Деп. 22.01.08 № 45-В2008). Для генерации нечеткого множества альтернатив формируется некоторое свойство (SV), которое рассматривается как лингвистический терм, при помощи которого образуется совокупность пар:

$$SV = \frac{\mu_s(v_1)}{v_1}, \frac{\mu_s(v_2)}{v_2}, \ldots, \frac{\mu_s(v_n)}{v_n}\ , \qquad (7)$$

где $V = \{v_1, v_2, \cdots v_n\}$ - универсальное множество, на котором задается нечеткое множество $A \quad V$; $\mu_s(v_i)$ – степень принадлежности элемента $v_i \quad V$ нечеткому множеству A.

Однако наиболее эффективными в случае формирования множества решений являются экспертные методы, описанные на предыдущих этапах. (Деп. 22.01.08 № 45-В2008).

Этап 5. Анализ альтернатив. Наиболее важным этапом является анализ вариантов решений, в ходе которого необходимо провести оптимизацию альтернатив и выбор наилучшей из множества предложенных, с использованием методологии поддержки принятия решений, включающей разнообразные технологии и методы, которые можно частично или полностью формализовать.

С точки зрения системного анализа к основным этапам анализа альтернативных решений необходимо отнести: анализ неопределенности решения, методы оптимизации и определение решающих функций, оценку возможных решений, выбор оптимального решения.

Как и на предыдущих этапах, в условиях полной неопределенности решения необходимо использование экспертных методов, в частности метода Делфи и экспертных оценок (Деп. 22.01.08 № 45-В2008). Суть метода экспертных оценок для формирования решения состоит в следующем: Все эксперты (L) не могут обмениваться информацией. Обратная связь (O) между ними отсутствует. Возможное решение формируется на основе математического (решающего) правила (W):

$$\varphi(x_1, \ldots, x_n) = \sum_{i=1}^{N} x_i \alpha_i \Big/ \sum_{i=1}^{N} \alpha_i\ , \qquad (8)$$

где $\alpha_i \left(i = \overline{1,N}\right)$ - веса экспертов.

Для определения вида решающей функции (U) и оптимально-компромиссных решений необходимо использовать методы многокрите-риальной оптимизации. Метод выделения главного критерия оптимальности с наложением ограничений на остальные критерии. Математическая модель принятия оптимального решения сводится к задаче векторной оптимизации [1,3, 4]:

$$\overset{o}{x} = f^{-1} \quad \mathrm{Opt}\, K(x) \quad \{K | \min K_1(x)\} \quad P\ , \qquad (9)$$

$$D = \{K | K_j \quad K_j^o(x), j \quad (2,3,\ldots,m)\} \quad P$$

где $\overset{o}{x}$ – оптимальное компромиссное решение; f^{-1} – обратное отображение множества допустимых решений во множество векторных оценок; $K_j(x)$ – критерии оптимальности; P – область компромиссов (Парето).

Если критерии ранжированы по важности, то наиболее эффективным методом многокритериальной оптимизации при поиске решения является метод свертывания частных критериев оптимальности в комплексный или метод «обобщенного критерия», нашедший широкое применение и состоящий в следующем:

$$\overset{o}{x} = f^{-1}\ \mathrm{Opt}\,K(x) \quad K\Big|_{K\ \ P}\min \quad \underset{j\ \ I2}{v_j\,K_j}(x) \quad P, \qquad (10)$$

или

$$\overset{o}{x} = f^{-1}\ \underset{K\ \ P}{\mathrm{Opt}}\ K(x) \quad K\Big|_{K\ \ P}\min \quad \underset{j\ \ I2}{K_j^{v_j}}(x) \quad P, \qquad (11)$$

$$v_j = A\ \left\{v \middle| v_j\ \ [0,1], = v_j\ \ 1; j = I_2\ \ (1,2,3...,m)\right\},$$

где v_i - коэффициент весомости (важности) критериев; $K_j(x)$ - «нормализованное» значение критерия оптимальности.

В итоге исходная многокритериальная задача сводится к обычной задаче оптимизации по одному обобщенному критерию.

В случае некорректного решения на основе метода «обобщенного критерия» эффективным может оказаться метод функции полезности:

$$\overset{o}{x} = f^{-1}\ \mathrm{Opt}\Psi(K)\quad \left\{\Psi(K)\middle|\min\ \ \alpha_j\Psi_j(K)\right\}\quad P, \qquad (12)$$

$$v_j = A\ \left\{v \middle| v_j\ \ [0,1], = v_j\ \ 1; j\ \ I\ \ (1,2,3...,m)\right\},$$

где $\Psi_j\ K_j\ \ [0,1]$ – адекватная функция полезности $\Psi_j\ K_j = 0$ для наименьшей оценки X_j по j-му критерию и $\Psi_j\ K_j = 1$ для наибольшей оценки X_j по j-му критерию.

Этап 6. Формирование управляющего воздействия. Этот этап является заключающим в цепочке этапов поддержки принятия решения и фактически является результатом действий СППР на предыдущих этапах. На этапе формирования управляющего воздействия на объект управления ЛПР осуществляет ряд действий, направленных на реализацию предоставленных ему рекомендаций СППР, или внесению корректировки в рекомендуемые СППР воздействия на объект управления с последующим применением к объекту управления. На данном этапе возможно применение экспертных методов и методов оптимизации, рассмотренных на предыдущих этапах (Деп. 22.01.08 № 45-В2008).

Функциональная схема системы поддержки принятия решений для реализации широкого круга задач. Анализ классической схемы теории принятия решений для реализации СППР в рамках одной предметной области выявил необходимость структуризации, оптимизации и актуализации существующих алгоритмов и методов, предназначенных для решения задач в управленческой деятельности.

При необходимости использования больших объемов информации в классической схеме поддержки принятия решений необходимо использовать базы данных и базы знаний, а оптимальное применение методов и правил формирования системы критериев, генерации альтернатив, выбора и анализа альтернатив позволит интеллектуализировать процесс принятия решений.

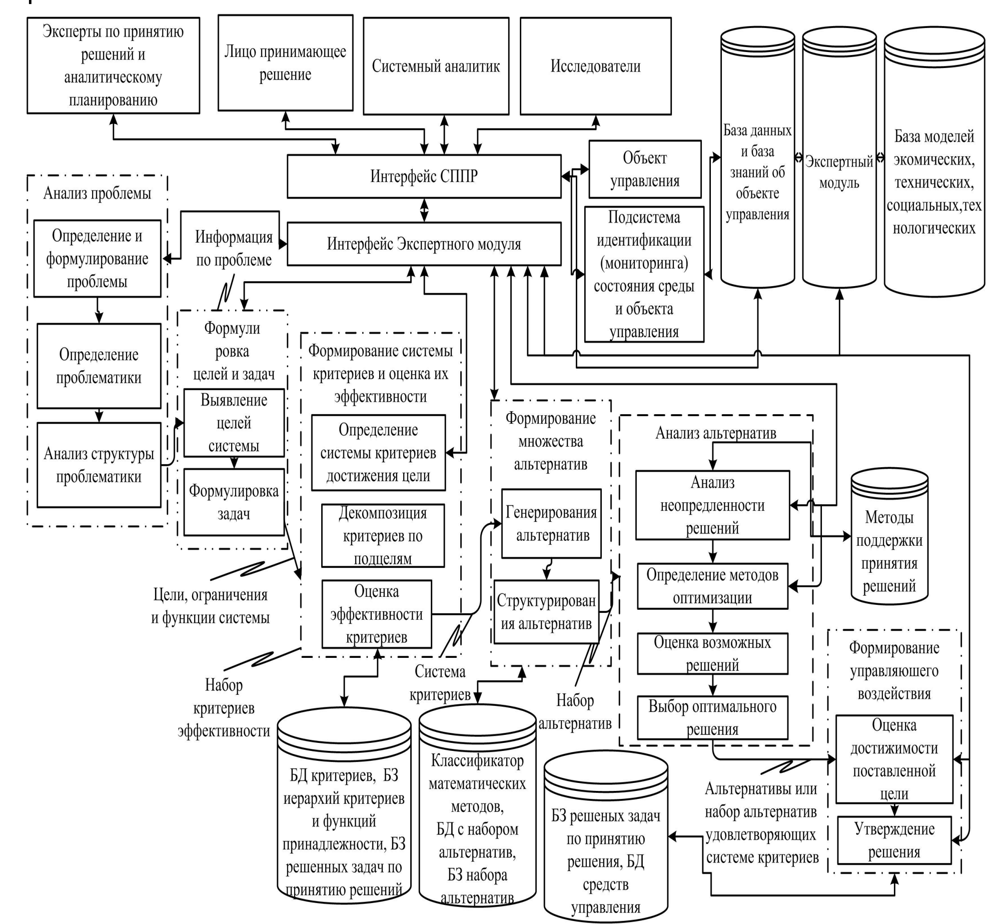


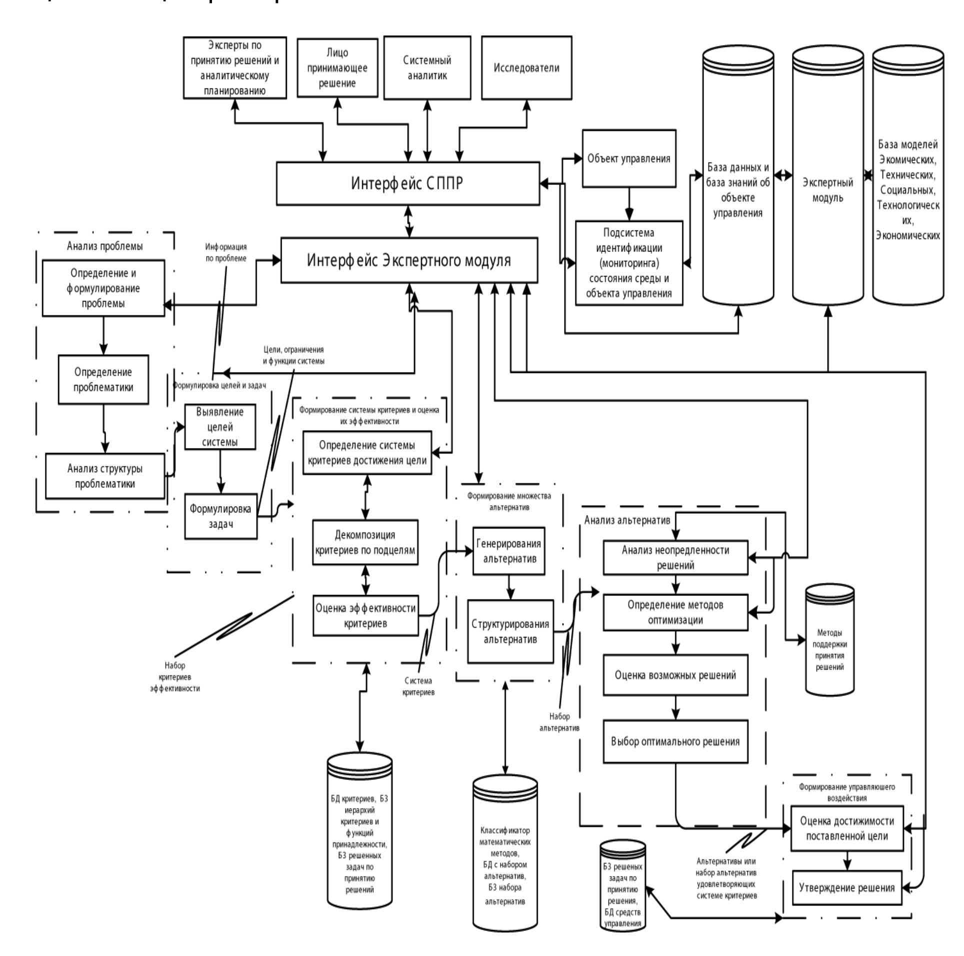
Рис. 2. Функциональная схема СППР

Разработана общая функциональная схема СППР, отвечающая современным требованиям IT-технологий (рис.2). Функциональная схема системы поддержки принятия решений построена таким образом, что при рассмотрении задач, относящихся к различным предметным областям, система перенастраивается на конкретную проблемную ситуацию. Возможность организации БД и БЗ больших объемов позволяет использовать накопленную информацию при решении различных задач с учетом методов генерации решений, формирования системы критериев и выбора решений в зависимости от предметной области проблемы.

Реализация СППР в рамках приведенной схемы дает возможность расширять количество и круг задач при условии программной модернизации СППР и наполнения баз данных СППР и баз знаний СППР. Однако такую сложную систему должны поддерживать специалисты, которые в зависимости от назначения структурных элементов, условно разбиты на группы в соответствии с функциональными обязанностями: системные аналитики, эксперты, исследователи и лица, принимающие решения.

При проектировании, построении и программной реализации системы назначением структурных элементов и функциональных задач пользователей СППР необходима ее ориентация для поддержки принятия решений в рамках определенной предметной области или нескольких областей, а также решение различного класса управленческих задач в соответствии с этими предметными областями.

Алгоритмы и методы поддержки принятия решений использованы в интеллектуальной системы поддержки принятия решений, разработанной в рамках гранта Российского Фонда Фундаментальных исследований «Разработка теоретических основ и построение интеллектуальных систем мониторинга, анализа и поддержки принятия политических, социально- экономических и технологических решений регионального уровня для ситуационных центров органов власти».



Выводы.

1. На основе классической схемы принятия решений и схемы методов, объединяющих основные этапы СППР, построена функциональная схема системы поддержки принятия решений, отвечающая требованиям современных тенденций в области теории принятия решений.

2. Дан анализ методов, математических и эвристических правил на всех этапах принятия решений. Создана схема применения методов для интеллектуальной СППР с точки зрения неопределенности выбора и области применения решаемой задачи, с использованием теории нечетких множеств, экспертных процедур, методов функции полезности и т.д.

3. В разработанной схеме существует возможность использования баз данных и баз знаний, необходимых для хранения, мониторинга и анализа больших объемов информации для работы интеллектуальной системы, ориентированной на поддержку принятия решений различных классов задач. При условии реализации СППР в рамках приведенной схемы существует возможность расширять количество и круг задач в процессе эксплуатации при условии программной модернизации СППР и наполнения баз данных и баз знаний системы.

4. Наличие комплексного набора алгоритмов, методов поддержки принятия решения, используемых на каждом этапе, позволит значительно увеличить число функциональных задач в различных предметных областях управленческой деятельности

Библиографический список

1. *Симанков В.С.* Автоматизация системных исследований / В.С. Симанков. - Краснодар: КубГТУ, 2002. – 376 с.

2. *Кини Р.Л.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х.Райфа; пер. с англ. / под ред. И.Ф. Шахнова. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.

3. *Симанков В.С.* Компьютерное моделирование: учеб. пособие / В.С. Симанков. – Краснодар: КубГТУ, 2005. – 244 с.

4. *Катулев А.Н.* Математические методы в системах поддержки принятия решений: учеб. пособие / А.Н. Катулев, Н.А. Северцев. – М.: Высшая школа, 2005. – 311 с.

5. *Макаров И.М.* Теория выбора и принятия решений: учеб. пособие / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов. – М.: Наука, 1982. – 328 с.

6. *Перегудов Ф.И.* Основы системного анализа: учебник; 2-е изд., доп. / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – Томск: Изд-во НТЛ, 1997. – 396 с.

7. *Трахтенгерц Э.А.* Компьютерная поддержка принятия решений: научно-практическое издание. / Э.А. Трахтенгерц // Сер. «Информатизация России на пороге XXI века». – М.: СИНТЕГ, 1998. – 376 с.

8. *Трахтенгерц Э.А.* Компьютерная поддержка формирования целей и стратегий. / Э.А. Трахтенгерц. // Сер. «Системы и проблемы управления». – М.: СИНТЕГ, 2005. – 224 с.

Материал поступил в редакцию 17.07.08.

**V.S. SIMANKOV, S.N. VLADIMIROV,
A.O. DENISENKO, A.N. CHERKASOV**

METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE EXPERT DECISION-MAKING SUPPORT SYSTEMS' CONSTRUCTION

In the article the theoretical aspects of the functional scheme's construction and the groundwork of the intellectual systems of the decision-making support are scrutinized. They are discovered by means of the complex application of the mathematical methods at the solving of the problems in the various spheres of an activity.

СИМАНКОВ Владимир Сергеевич (р.1947), проректор по научной и инновационной деятельности Кубанского государственного технологического университета, доктор технических наук (2002), профессор (2003). Окончил Краснодарский политехнический институт (1971).
Область научных интересов: системный анализ, синтез, моделирование, оптимизация, адаптивное управление.
Количество публикаций: более 230 научных работ.

ВЛАДИМИРОВ Сергей Николаевич (1979), начальник управления информационных технологий Кубанского государственного технологического университета. Окончил Адыгейский государственный университет (2001).
Область научных интересов: системный анализ, синтез, моделирование, оптимизация, нечеткое управление.
Автор 6 научных публикаций.

ДЕНИСЕНКО Андрей Олегович (р.1978), старший научный сотрудник Кубанского государственного технологического университета. Окончил Адыгейский государственный университет (2001).
Область научных интересов: системный анализ, синтез, оптимизация, нечеткое управление, теория и системы принятия решений, информационно-аналитические системы.
Автор 6 научных публикаций.

ЧЕРКАСОВ Александр Николаевич (р.1979), директор Центра научных исследований информационных технологий Кубанского государственного технологического университета. Окончил Адыгейский государственный университет (2001).
Область научных интересов: системный анализ, синтез, оптимизация, нечеткое управление, моделирование, теория и системы принятия решений.
Имеет 6 научных публикаций.